

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Hiroyuki KANO

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: LIGHT-RECEIVING DEVICE WITH QUANTUM-WAVE INTERFERENCE LAYERS

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231



SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	10-358935	December 17, 1998

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak
Registration No. 174,944
Registration Number 21,124

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 8 年 1 2 月 1 7 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 0 年 特 許 願 第 3 5 8 9 3 5 号

出 願 人

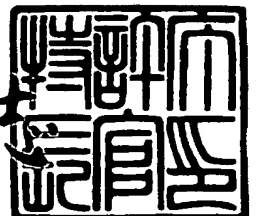
Applicant (s):

カナレ電気株式会社

1 9 9 9 年 8 月 2 0 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

伴 佐 山 建 志



出 証 番 号 出 証 特 平 1 1 - 3 0 5 8 4 0 2

【書類名】 特許願

【整理番号】 P98123KD

【提出日】 平成10年12月17日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 29/15

【発明の名称】 量子波干渉層を有した受光素子

【請求項の数】 10

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字段之上1番地2 カナ
レ電気株式会社内

 【氏名】 加納 浩之

【特許出願人】

 【識別番号】 591181229

 【氏名又は名称】 カナレ電気株式会社

 【代表者】 川本 公夫

【代理人】

 【識別番号】 100087723

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 藤谷 修

 【電話番号】 052-363-2558

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 007445

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9709113

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 量子波干渉層を有した受光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 層と第 1 層よりもバンド幅の広い第 2 層とを多重周期で積層した量子波干渉層を有し、入力光を電気に変換する受光素子において、

前記第 1 層と、前記第 2 層との各層の厚さを各層を伝導するキャリアの各層における量子波の波長の 4 分の 1 の偶数倍に設定した量子波干渉層を前記第 2 層よりもバンド幅の狭いキャリア閉込層を介在させて複数配設したことを特徴とする量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 2】 前記量子波の波長を決定するための前記キャリアの運動エネルギーをキャリアが電子である場合には第 2 層の伝導帯の底付近、キャリアが正孔である場合には前記第 2 層の価電子帯の底付近に設定したことを特徴とする請求項 1 に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 3】 前記第 1 層における前記量子波の波長 λ_W は $\lambda_W = h / [2 m_W (E + V)]^{1/2}$ で決定され、前記第 2 層における前記量子波の波長 λ_B は $\lambda_B = h / (2 m_B E)^{1/2}$ で決定され、前記第 1 層の厚さ D_W は $D_W = n_W \lambda_W / 4$ 、前記第 2 層の厚さ D_B は $D_B = n_B \lambda_B / 4$ で決定される、但し、 h はプランク定数、 m_W は第 1 層におけるキャリアの有効質量、 m_B は第 2 層におけるキャリアの有効質量、 E は第 2 層に流入されるキャリアの運動エネルギー、 V は第 1 層に対する第 2 層のバンド電位差、 n_W 、 n_B は偶数であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 4】 前記量子波干渉層は、前記第 2 層を伝導するキャリアの運動エネルギーを複数の異なる値 E_k 、前記第 1 層におけるその各運動エネルギーを $E_k + V$ とし、第 2 層、第 1 層の各エネルギーに対応した各量子波長を λ_{Bk} 、 λ_{Wk} とする時、第 2 層、第 1 層を $n_{Bk} \lambda_{Bk} / 4$ 、 $n_{Wk} \lambda_{Wk} / 4$ の厚さで、 T_k 周期繰り返された部分量子波干渉層 I_k が前記値 E_k の数だけ繰り返し形成された層、但し、 n_{Wk} 、 n_{Bk} は偶数、であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 5】 前記キャリア閉込層のバンド幅は、前記第 1 層のバンド幅に等

しいことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 6】 前記キャリア閉込層の厚さは、前記量子波の波長 λ_w であることを特徴とする請求項 5 に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 7】 前記第 1 層と前記第 2 層との境界には、前記第 1 層と前記第 2 層の厚さに比べて十分に薄く、エネルギーバンドを急変させる δ 層が設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 8】 前記受光素子は、 $p-i-n$ 接合構造を有し、前記量子波干渉層及び前記キャリア閉込層は、 i 層に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 9】 前記量子波干渉層及び前記キャリア閉込層は、 n 層、又は、 p 層に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【請求項 10】 前記受光素子は、 $p-n$ 接合構造を有することを特徴とする請求項 9 に記載の量子波干渉層を有した受光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は新規構造の光電気変換素子、即ち、受光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、 $p-i-n$ 接合を有した受光素子が知られている。この構造の受光素子では、 $p-i-n$ に逆方向電圧が印加されており、通常、 p 層側から入力した光が i 層で吸収されて、電子正孔対が生成される。この i 層で励起された電子正孔対が i 層中の逆方向電圧で加速されて、電子は n 層へ、正孔は p 層へと移動する。これにより、光強度に応じた強さの光電流を出力させることができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

この構造の受光素子において、光／電気の変換効率を向上させるためには、光が吸収される i 層を厚くすれば良い。しかし、この i 層を厚くすればする程、キャリアを n 層、p 層へ引き出すための時間が長くなり、光／電気変換の応答速度が低下する。この応答速度を向上させるためには、逆方向電圧を大きくして、i 層における電界を大きくすれば良い。しかし、逆方向電圧を大きくすると、素子分離が困難となり、漏れ電流を生じる原因となる。この結果、光が入力していない時に流れる電流、即ち、暗電流が大きくなるという問題がある。

【0004】

よって、従来の受光素子では、受光感度、検出速度、雑音電流との間に相互関連があり、受光素子の性能に制限があった。

【0005】

従って、本発明の目的は、受光素子において、全く新規な構造を有した pin 接合により、受光感度、応答速度を改善することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明は、第 1 層と第 1 層よりもバンド幅の広い第 2 層とを多重周期で積層した量子波干渉層を有し、入力光を電気に変換する受光素子において、第 1 層と、第 2 層との各層の厚さを各層を伝導するキャリアの各層における量子波の波長の 4 分の 1 の偶数倍に設定した量子波干渉層を第 2 層よりもバンド幅の狭いキャリア閉込層を介在させて複数配設したことを特徴とする。

【0007】

請求項 2 の発明は、量子波の波長を決定するためのキャリアの運動エネルギーをキャリアが電子である場合には第 2 層の伝導帯の底付近、キャリアが正孔である場合には第 2 層の価電子帯の底付近に設定したことを特徴とする。

【0008】

請求項 3 の発明は、第 1 層の厚さ D_W と第 2 層の厚さ D_B を次のように設定したことを特徴とする。

【数 1】

$$D_W = n_W \lambda_W / 4 = n_W h / 4 [2 m_W (E + V)]^{1/2} \quad \dots (1)$$

【数 2】

$$D_B = n_B \lambda_B / 4 = n_B h / 4 (2 m_B E)^{1/2} \quad \dots (2)$$

但し、 h はプランク定数、 m_W は第1層を伝導するキャリアの有効質量、 m_B は第2層におけるキャリアの有効質量、 E は第2層を伝導する、第2層の最低エネルギーレベル付近におけるキャリアの運動エネルギー、 V は第1層に対する第2層のバンド電位差、 n_W 、 n_B は偶数である。

【0009】

請求項4の発明は、量子波干渉層を、第2層を伝導するキャリアの運動エネルギーを複数の異なる値 E_k 、第1層におけるその各運動エネルギーを $E_k + V$ とし、第2層、第1層の各エネルギーに対応した各量子波長を λ_{Bk} 、 λ_{Wk} とする時、第2層、第1層を $n_{Bk} \lambda_{Bk} / 4$ 、 $n_{Wk} \lambda_{Wk} / 4$ の厚さで、 T_k 周期繰り返された部分量子波干渉層 I_k が値 E_k の数だけ繰り返し形成された層、但し、 n_{Wk} 、 n_{Bk} は偶数、としたことを特徴とする。

【0010】

請求項5の発明は、キャリア閉込層のバンド幅は、第1層のバンド幅に等しくしたことを特徴とする。

請求項6の発明は、キャリア閉込層の厚さを、量子波の波長 λ_W としたことを特徴とする。

請求項7の発明は、第1層と第2層との境界に、第1層と第2層の厚さに比べて十分に薄く、エネルギーバンドを急変させる δ 層を設けたことを特徴とする。

請求項8の発明は、受光素子は、 $p-i-n$ 接合構造を有し、量子波干渉層及びキャリア閉込層は、 i 層に形成されていることを特徴とする。

請求項9の発明は、量子波干渉層及びキャリア閉込層は、 n 層、又は、 p 層に形成されていることを特徴とする。

請求項10の発明は、受光素子は、 $p-n$ 接合構造を有することを特徴とする。

【0011】

【発明の作用及び効果】

〔請求項1、2、3、8、9、10の発明〕

本発明にかかる量子波干渉層の原理を図1、図2に基づいて説明する。図1は

、p層とn層との間に順方向に外部電圧が印加された状態を示している。即ち、外部電圧によりi層のバンドは平坦となっている。図1では、i層に4つの量子波干渉層 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 が形成されており、各量子波干渉層の間には、キャリア閉込層 C_1, C_2, C_3 が形成されている。又、図2は、1つの量子波干渉層 Q_1 の伝導帯のバンド構造を示している。

【0012】

電子が外部電界により図上左から右方向に伝導するとする。伝導に寄与する電子は、第2層Bの伝導帯の底付近に存在する電子と考えられる。この電子の運動エネルギーをEとする。すると、第2層Bから第1層Wに伝導する電子は第2層Bから第1層Wへのバンド電位差Vにより加速されて、第1層Wにおける運動エネルギーはE+Vとなる。又、第1層Wから第2層Bへ伝導する電子は第1層Wから第2層Bへのバンド電位差Vにより減速されて、第2層Bにおける電子の運動エネルギーはEに戻る。伝導電子の運動エネルギーは、多重層構造のポテンシャルエネルギーによりこのような変調を受ける。

【0013】

一方、第1層Wと第2層Bの厚さが電子の量子波長と同程度となると、電子は波動として振る舞う。電子の量子波の波長は電子の運動エネルギーを用いて、(1)、(2)式により求められる。さらに、波の反射率Rは第2層B、第1層Wにおける量子波の波数ベクトルを K_B, K_W とする時、次式で求められる。

【数3】

$$\begin{aligned} R &= (|K_W| - |K_B|) / (|K_W| + |K_B|) \\ &= \{ [m_W(E+V)]^{1/2} - (m_B E)^{1/2} \} / \{ [m_W(E+V)]^{1/2} + (m_B E)^{1/2} \} \\ &= \{ 1 - [m_B E / m_W(E+V)]^{1/2} \} / \{ 1 + [m_B E / m_W(E+V)]^{1/2} \} \dots (3) \end{aligned}$$

又、 $m_B = m_W$ と仮定すれば、反射率は次式で表される。

【数4】

$$R = \{ 1 - [E / (E+V)]^{1/2} \} / \{ 1 + [E / (E+V)]^{1/2} \} \dots (4)$$

$E / (E+V) = x$ とおけば、(4)式は次式のように変形できる。

【数5】

$$R = (1 - x^{1/2}) / (1 + x^{1/2}) \dots (5)$$

この反射率 R の x に対する特性は図 3 のようになる。

【0014】

$x \leq 0.1$ の時 $R \geq 0.52$ となり、そのための E , V の関係は

【数 6】

$$E \leq V/9 \quad \dots (6)$$

となる。第 2 層 B における伝導電子の運動エネルギー E は伝導帯の底付近であることから、(7) 式の関係が満足され、第 2 層 B と第 1 層 W との境界での反射率 R は 52% 以上となる。このようなバンド幅の異なる層で形成された多重層構造により、 i 層へ注入される電子の量子波を効率良く反射させることができる。

【0015】

又、 x を用いて第 2 層 B の厚さの第 1 層 W の厚さに対する比 D_B/D_W は次式で求められる。

【数 7】

$$D_B/D_W = [m_W/(m_B x)]^{1/2} \quad \dots (7)$$

【0016】

第 1 層 W と第 2 層 B の厚さがこれらの各層における量子波の波長の $1/4$ の偶数倍、例えば、量子波長の $1/2$ となると、量子波干渉層に定在波が立ち、共鳴的伝導が生じるものと思われる。即ち、定在波による量子波の周期と量子波干渉層とのポテンシャル周期とが一致する結果、各層でのキャリアの散乱が抑制され、高移動度の伝導が実現すると考えられる。

このような量子波干渉層を i 層に形成した受光素子において、 i 層に光が入射すると、キャリア閉込層 C_1 , C_2 , C_3 の伝導帯に光励起された電子が蓄積される。この光励起された電子は、印加された順方向電圧により p 層側に流れようとする。その光励起電子は閉込められたキャリア閉込層に対して p 層側に存在する量子波干渉層による透過条件が満たされていないので、電子は移動しない。

【0017】

ところが、このキャリア閉込層 C_1 , C_2 , C_3 の電子が多くなると、より高レベルに電子が存在するようになる。この高レベルに存在する電子の運動エネルギーが増加するため、上記の量子波干渉層による透過条件を満たすようになる。この

結果、電子は量子波干渉層 Q_2 , Q_3 , Q_4 を透過してp層に流れる。これが光電流となる。

【0018】

この受光素子には順方向電圧が印加されることから、低電圧駆動が可能となり、素子間の絶縁分離が容易となる。又、光が入力されない状態では、電子は量子波干渉層で高透過される状態ではないため、暗電流を小さくすることができる。又、電子の移動は、量子波干渉層を波動として伝搬すると考えられるので、応答速度が高速となる。

【0019】

又、価電子帯においても、エネルギーレベルが周期的に変動するが、バンド電位差 V が伝導帯のバンド電位差と異なること、第1層W、第2層Bにおける正孔の有効質量が電子の有効質量と異なること等のため、電子に対して高透過性に設定された第1層Wと第2層Bの幅の設定値は正孔に対する高透過性が得られる条件にはならない。よって、上記の構造の量子波干渉層は、電子に対して高透過性（高移動度）となり、正孔に対して高透過性（高移動度）にはならない。

【0020】

又、逆に、価電子帯のバンド電位差、正孔の有効質量を用いて、第1層W、第2層Bの厚さを設計することで、量子波干渉層を正孔に対して高移動度とし、電子に対して通常の移動度とする層とする正孔透過層とすることも可能である。

【0021】

以上の議論を、図4を用いて更に説明する。図4の(a)～(h)は、多重量子井戸構造のポテンシャルにおける電子の量子波の反射と、多重量子井戸の伝導帯を示すポテンシャルの周期との関係を示したものである。図4の(a)～(d)は、伝播する電子の量子波の $1/4$ の周期の場合を示し、図4の(e)～(h)は、伝播する電子の量子波の $1/2$ の周期の場合を示している。図4の(a)～(h)では、各層の厚さを等しくしているが、これは視覚的な理解を助けるためのものである。いま、第2層Bの伝導帯の底付近にある電子が、図4の(a)及び(e)上左から右に流れ、図4の(b)或いは図(f)のように、第1層Wとの界面に到達するとする。

【0022】

伝播する電子の量子波の $1/4$ の周期のポテンシャルの多重量子井戸に電子の量子波が第2層Bから第1層Wとの界面に到達すると、図4の(c)のように、入射波QW1に対し、透過波QW2と、透過波QW2と同位相の反射波QW3が生じる。次に、図4の(d)のように、透過波QW2が第1層Wから第2層Bとの界面に到達すると、透過波QW4と、透過波QW4と逆位相の反射波QW5が生じる。これらの、界面での透過波と反射波の位相の関係は、界面での伝導帯のポテンシャルが下がるか、上がるかの違いによるものである。また、やはり視覚的な理解を助けるため、QW1、QW2、QW3、QW4、QW5はすべて同振幅で図示してある。

【0023】

さて、伝播する電子の量子波の $1/4$ の周期のポテンシャルの多重量子井戸においては、QW1、QW2、QW4が作る図上左から右へ伝播する電子の量子波と、2つの界面で反射されて形成される反射波QW3、QW5が作る図上右から左へ伝播する電子の量子波は、互いに打ち消しあう関係にあることがわかる(図4の(d))。ここから、伝播する電子の量子波の $1/4$ の奇数倍の周期でポテンシャルを形成した多重量子井戸においては、電子の量子波を打ち消す、即ち電子を伝播しない反射層として作用することが理解できる。

【0024】

同様の議論で、図4の(e)～(h)に示すように、伝播する電子の量子波の $1/4$ の偶数倍の周期でポテンシャルを形成した多重量子井戸においては、電子の量子波を定在波とすることが理解できる。

【0025】

即ち、伝播する電子の量子波の $1/2$ の周期のポテンシャルの多重量子井戸に電子の量子波が第2層Bから第1層Wとの界面に到達すると、図4の(f)のように、入射波QW1に対し、透過波QW2と、透過波QW2と同位相の反射波QW3が生じ、図4の(g)のように、透過波QW2が第1層Wから第2層Bとの界面に到達すると、透過波QW4と、透過波QW4と逆位相の反射波QW5が生じる。伝播する電子の量子波の $1/2$ の周期のポテンシャルの多重量子井戸にお

いては、QW1、QW2、QW4が作る図上左から右へ伝播する電子の量子波と、第2の界面で反射されて形成される反射波QW5が作る図上右から左へ伝播する電子の量子波は、互いに強めあう関係にあることがわかる（図4の（h））。また逆に、反射波QW3とQW5が打ち消しあい、QW1、QW2、QW4が作る図4の（e）上左から右へ伝播する電子の量子波が定在波となるとも理解できる。ここから、伝播する電子の量子波の $1/4$ の偶数倍の周期でポテンシャルを形成した多重量子井戸においては、電子の量子波を定在波とする、即ち電子に対して高透過性（高移動度）となる透過層として作用することが理解できる。

【0026】

全く同様の議論が、正孔と、正孔の量子波の $1/2$ の周期のポテンシャルの多重量子井戸構造についても明らかに成り立つ。

【0027】

上記のキャリアの透過機能を有する量子波干渉層は、0Vから所定のバイアス電圧までキャリアを高透過せず、所定のバイアス電圧で高透過するので、光受光素子をn層だけ、又は、p層だけで形成し、上記の量子波干渉層とキャリア閉込層を、n層又はp層に形成しても良い。同様に、pn接合の受光素子を形成し、そのn層、p層に形成しても良い。

【0028】

〔請求項4の発明〕

請求項4の発明は、図5に示すように、第1層Wと第1層Wよりもバンド幅の広い第2層Bとの多重周期から量子波干渉層を次のように形成したことを特徴とする。第1層W、第2層Bを、それぞれ、厚さ D_{Wk} 、 D_{Bk} で任意周期 T_k だけ繰り返して部分量子波干渉層 I_k とする。

但し、

【数8】

$$D_{Wk} = n_{Wk} \lambda_{Wk} / 4 = n_{Wk} h / 4 [2 m_{Wk} (E_k + V)]^{1/2} \quad \dots (8)$$

【数9】

$$D_{Bk} = n_{Bk} \lambda_{Bk} / 4 = n_{Bk} h / 4 (2 m_{Bk} E_k)^{1/2} \quad \dots (9)$$

ここで、 E_k は第2層を伝導するキャリアの運動エネルギーの複数の異なる値、

m_{wk} は第 1 層における運動エネルギー $E_k + V$ を有するキャリアの有効質量、 m_{Bk} は第 2 層における運動エネルギー E_k を有するキャリアの有効質量、 n_{wk} 、 n_{Bk} は任意の奇数である。

このように形成された部分量子波干渉層 I_k を I_1, \dots, I_j と、 k の最大値 j だけ直列接続して量子波干渉層が形成される。この運動エネルギー E_k の離散間隔を狭くすれば、連続したあるエネルギー範囲にあるキャリアを反射させることができる。

【0029】

〔請求項 5、6〕

請求項 5 は、キャリア閉込層のバンド幅を第 1 層のバンド幅に等しくしている。又、請求項 6 はそのキャリア閉込層の厚さをその層の量子波の波長 λ_w としている。これにより、光励起されたキャリアの閉込を効果的に行うことができる。

【0030】

〔請求項 7〕

図 6 に示すように、第 1 層 W と第 2 層 B との境界において、エネルギーバンドを急変させる厚さが第 1 層 W、第 2 層 B に比べて十分に薄い δ 層を設けても良い。この効果としては、製造技術上の問題から生じる層間のバンドギャップを急峻にするためと考えられる。これを図 7 に示す。 δ 層を形成しないとき、図 7 (a) の如くバンドを形成しようとしても、積層時に第 1 層 W と第 2 層 B の成分が層間で一部混合し、急峻なバンドギャップが得られない (図 7 (b))。しかし、図 7 (c) の如く層間に δ 層を形成するときは、成分が層間で一部混合したとしても、 δ 層を形成しないときに比較し、急峻なバンドギャップが得られるものと考えられる (図 7 (d))。

【0031】

この δ 層は、図 6 (a) に示すように、各第 1 層 W の両側の境界に設けられているが、片側の境界だけに設けても良い。又、 δ 層は、図 6 (a) に示すように、境界に第 2 層 B のバンドの底よりもさらに高い底を有するバンドが形成されるように設けているが、図 6 (b) に示すように、境界に第 1 層 W の底よりもさらに低い底を有するバンドを有するように形成しても良い。さらに、図 6 (c) に

示すように、境界に第2層Bよりも高いエネルギーレベルを有し第1層Wよりも低いエネルギーレベルを有する2つの δ 層を形成しても良い。更に、前述の通り、図6(c)で各層の両側の境界に設けられている δ 層は、図6(d)に示すように、片側の境界だけに設けても良い。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定されるものではない。

【0033】

〔第1実施例〕

図8は量子波干渉層をi層に形成したpin受光素子の断面図である。GaAsから成る基板10の上に、n-GaAsから成る厚さ $0.3\mu\text{m}$ 、電子濃度 $2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のバッファ層12が形成され、その上にn-Ga_{0.51}In_{0.49}Pから成る厚さ $0.13\mu\text{m}$ 、電子濃度 $2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のn形コンタクト層14が形成されている。n形コンタクト層14の上には、n-Al_{0.51}In_{0.49}Pから成る厚さ $0.43\mu\text{m}$ 、電子濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のn層16が形成されている。そのn層16の上には、不純物無添加のi層18が形成され、そのi層18の上にはAl_{0.51}In_{0.49}Pから成る厚さ $0.43\mu\text{m}$ 、正孔濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のp層20が形成されている。さらに、そのp層20の上にp-Ga_{0.51}In_{0.49}Pから成る厚さ $0.13\mu\text{m}$ 、正孔濃度 $2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ の第2p形コンタクト層22とp-GaAsから成る厚さ $0.06\mu\text{m}$ 、正孔濃度 $2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ の第1p形コンタクト層24が形成されている。さらに、基板10の裏面には厚さ $0.2\mu\text{m}$ のAu/Geから成る電極26が形成され、第1p形コンタクト層26の上には厚さ $0.2\mu\text{m}$ のAu/Znから成る電極28が形成されている。

【0034】

上記のi層18の中に、不純物無添加のGa_{0.51}In_{0.49}Pから成る第1層Wと不純物無添加のAl_{0.51}In_{0.49}Pから成る第2層Bを10周期多重化した量子波干渉層A₁、これと同様な構成の量子波干渉層A₂, A₃, A₄と全体で4組設けられている。1つの量子波干渉層A₁の詳細なバンド構造が図6の(a)に示されている。第1層Wの厚さは10nm、第2層Bの厚さは14nmであり、第2層Bと第1層Wと

の間には厚さ1.3nmの不純物無添加の $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.33}\text{In}_{0.33}\text{P}$ から成る δ 層が形成されている。又、各量子波干渉層 A_i 、 A_{i+1} 間には厚さ20nm、不純物無添加の $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ から成るキャリア蓄積層 C_i が形成されている。第2層Bと第1層Wの厚さの条件は、外部電圧が印加されていない状態で、上記した(1)、(2)式で決定されている。

【0035】

尚、p層20又はn層16に接合する第2層Bは10nmである。又、基板10は、2インチ径の大きさであり、基板の主面は面方位(100)に対して15°方位[011]方向にオフセットしている。

【0036】

この受光素子は、ガスソースMBE法により製造された。ガスソースMBE法は、結晶のエレメント材料全てを固体ソースから供給する従来形のMBE法とは異なり、V族元素(As,P)等をガス状原料(AsH_3 , PH_3)の熱分解により供給し、III族エレメント(In,Ga,Al)は固体ソースから供給する超高真空下の分子線結晶成長法である。なお、有機金属ガス気相成長法(MOCVD)を用いることもできる。

【0037】

上記の構成の受光素子において、p層20とn層16との間に順方向に電圧Vを増加させて行くと、図1に示すように、i層18のバンドの傾斜が平坦となる電位が存在する。この状態では、量子波干渉層 $Q_1 \sim Q_4$ において電子に対して透過条件が設立しないので、電子は流れない。

【0038】

次に、キャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ のバンド幅に共鳴したエネルギーの光が入射すると、このキャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ に電子が励起される。このキャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ における電子濃度が高くなり、第2層Bの伝導帯の底付近以上の電子が多く存在するようになると、n層16の電子が隣のキャリア閉込層 C_1 に伝導し、キャリア閉込層 C_1 の電子は隣のキャリア閉込層 C_2 に伝導する。このようにして、電子は各キャリア閉込層 C_i を介在させて、各量子波干渉層中は電子の波としての性質により高速に伝導すると考えられる。このようにして、光励起により電

子は高速に n 層 16 から p 層 20 へと伝導すると考えられる。

【0039】

尚、この光受光素子は、キャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ に励起される電子が n 層 16 から p 層 20 への電子の伝導に対してゲートスイッチの機能を有しているので、光電気変換効率が低い。さらに、キャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ に電子が励起されていない場合には、量子波干渉層 $Q_1 \sim Q_4$ は電子に対して透過条件が満たされていないが、キャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ に電子が励起された場合にのみ、電子の透過条件が満たされるようになり、量子波干渉層 $Q_1 \sim Q_4$ を電子は量子波として伝導すると考えられるため、スイッチング速度も高速になると思われる。

【0040】

この光受光素子の V-I 特性を測定した。図 9 に示す。光を照射した場合には、わずかな順方向電圧により、 10^{-7} A の電流が流れ、0.8V の順方向電圧により、電流は 10^{-5} A まで急峻に増加しているのが分かる。それに対して、暗電流は量子波干渉層による電子の透過作用により順方向電圧を印加しても小さい値に抑制されている。尚、光電流の暗電流に対する比は、順方向電圧が 1.2V 以下の範囲で 100 倍程度、1.5V 付近でも 10 倍程度あることが理解される。尚、i 層 18 の電位を平坦にする順方向電圧は 0.5V と考えられるが、この 0.5V の電圧で、光電流は約 1×10^{-5} A となっているのが分かる。

【0041】

〔比較例〕

比較のため、上記と同様な受光素子の i 層に形成した量子波干渉層を以下のよう形成したものを作製した。即ち、i 層 18 は、 $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ から成る厚さ 5 nm の第 1 層 W と $Al_{0.51}In_{0.49}P$ から成る厚さ 7 nm の第 2 層 B と第 1 層 W の両側に形成された厚さ 1.3 nm の不純物無添加の $Al_{0.33}Ga_{0.33}In_{0.33}P$ から成る δ 層とを 1 組として 10 周期繰り返された量子波干渉層 Q_1 と、これと同一構造の量子波干渉層 Q_2, \dots, Q_4 とを合わせて、全体で 4 組設けた。1 つの量子波干渉層 Q_1 の詳細なバンド構造は図 6 (a) に示すものと同様である。又、各量子波干渉層 Q_i , Q_{i+1} 間には厚さ 20 nm、不純物無添加の $Al_{0.51}In_{0.49}P$ から成るキャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ が形成されている。第 2 層 B と第 1 層 W の厚さの条件は、電極 28 と電極

26間に順方向電圧を印加して、i層18に電位傾斜がない状態において上記した(1)、(2)式で、 n_w 、 n_B を1(奇数)として決定したものである。これは本発明者らが、本発明のキャリア透過層に対し、逆の働きを持つキャリア反射層と考えているものである。尚、n層16又はp層20に接合する第2層Bは0.05 μm とした。

【0042】

この光受光素子のV-I特性を測定した。図10に示す。光を照射した場合には、0.2Vの順方向電圧により、電流は4桁程急峻に増加しているが、その値は 10^{-6}A と、図9に示す上記実施例の 10^{-5}A に比して小さい。また、図10の比較例は、微電圧では電流は全く流れないが、図9に示す上記実施例ではわずかな順方向電圧で電流が生じている。

【0043】

上記実施例とこの比較例とを検討すると、光電流と暗電流とでのV-I特性の差、本発明にかかる実施例と比較例とでのV-I特性の差が生ずるのは、単に多重量子井戸構造にしたがためではなく、多重量子井戸構造の各層の膜厚に大きく依存しているためと理解できる。このように、本発明によれば、キャリアを高速に移動させるキャリア透過層となる多重量子井戸構造の量子波干渉層を提供できることがわかった。

【0044】

又、上記実施例では、 $Q_1 \sim Q_4$ の4つの量子波干渉層をキャリア蓄積層 $C_1 \sim C_3$ を介在させて直列に接続したが、i層に1つの量子波干渉層を形成しても良い。

【0045】

上記実施例では、 δ 層を形成している。この δ 層によりポテンシャル界面でのバンドギャップエネルギーの変化を急峻とし、量子波干渉効果(高透過)を著しく向上させることができるが、効果は低下するものの δ 層がない多重量子井戸構造でも良い。又、上記実施例では、量子波干渉層を $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ と $\text{Al}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ とで構成し、 δ 層を $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.33}\text{In}_{0.33}\text{P}$ で構成したが、4元系の $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{P}$ 或いは $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ ($0 \leq x, y, x+y \leq 1$ の任意の値)で組成比を異にして形成し

ても良い。

【0046】

さらに、量子波干渉層は、他のIII族-V族化合物半導体、II族-VI族化合物半導体、Si/Ge、その他の異種半導体の多重接合で構成することが可能である。具体的には下記のような組み合わせが望ましい。尚、バンド幅の広い層/バンド幅の狭い層//基板を意味し、x、yは明記していない場合は、それぞれ $0 < x, y < 1$ の任意の値である。

- <1> $Al_xIn_{1-x}P/Ga_yIn_{1-y}P//GaAs$
- <2> $Al_xGa_{1-x}As/GaAs//GaAs$
- <3> $Ga_xIn_{1-x}P/InP//InP$
- <4> $Ga_xIn_{1-x}P/Ga_yIn_{1-y}As//GaAs$
- <5> $AlAs/Al_xGa_{1-x}As//GaAs$ $0.8 \leq x \leq 0.9$
- <6> $InP/Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}/GaAs$
- <7> $Si/SiGe_x//任意$ $0.1 \leq x \leq 0.3$
- <8> $Si/SiGe_xC_y//任意$ $0.1 \leq x \leq 0.3, 0 < y \leq 0.1$
- <9> $Al_{x1}Ga_{y1}In_{1-x1-y1}N/Al_{x2}Ga_{y2}In_{1-x2-y2}N//Si, SiC, GaN, サファイア$
 $0 \leq x_1, x_2, y_1, y_2, x_1+y_1, x_2+y_2 \leq 1$

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の概念を説明するための説明図。

【図2】

本発明の理論を説明するための説明図。

【図3】

第2層におけるキャリアの運動エネルギーの第1層における運動エネルギーに対する比xに対する反射率Rの関係を示した特性図。

【図4】

本発明の概念を説明するための説明図。

【図5】

本発明の概念を説明するための説明図。

【図6】

本発明の概念を説明するための説明図。

【図7】

本発明の概念を説明するための説明図。

【図8】

本発明の実施例に係る受光素子の構造を示した断面図。

【図9】

その受光素子における光の非照射時、照射時のV-I特性の測定図。

【図10】

比較例の受光素子における光の非照射時、照射時のV-I特性の測定図。

【符号の説明】

10…基板

12…バッファ層

14…n形コンタクト層

16…n層

18…i層

20…p層

22…第2p形コンタクト層

24…第1p形コンタクト層

26, 28…電極

$Q_1 \sim Q_4$ …量子波干渉層

B…第2層

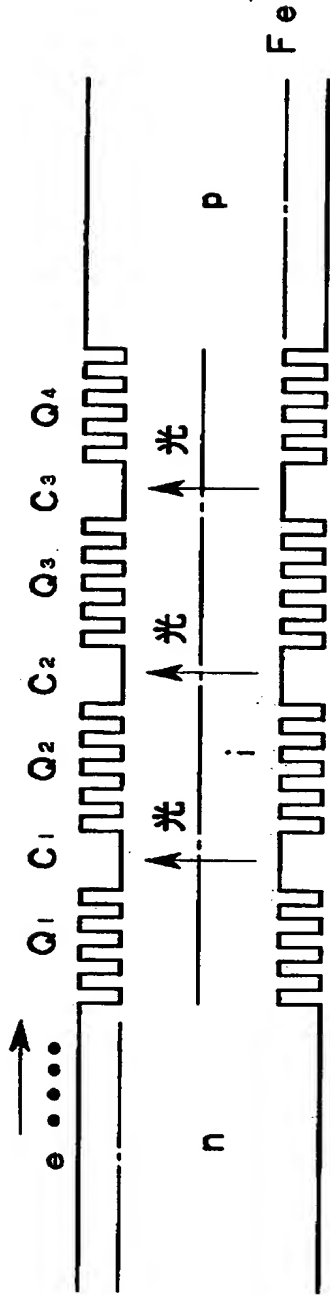
W…第1層

C, $C_1 \sim C_3$ …キャリア閉込層

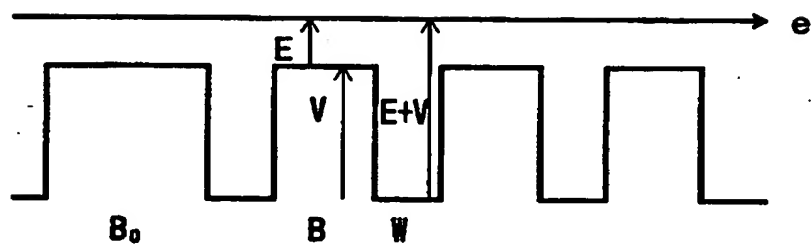
【書類名】

図面

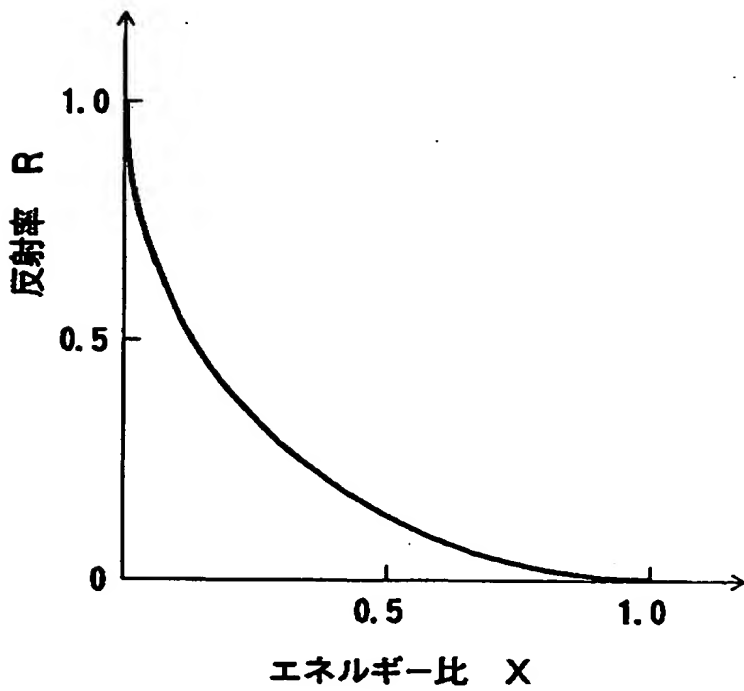
【図 1】



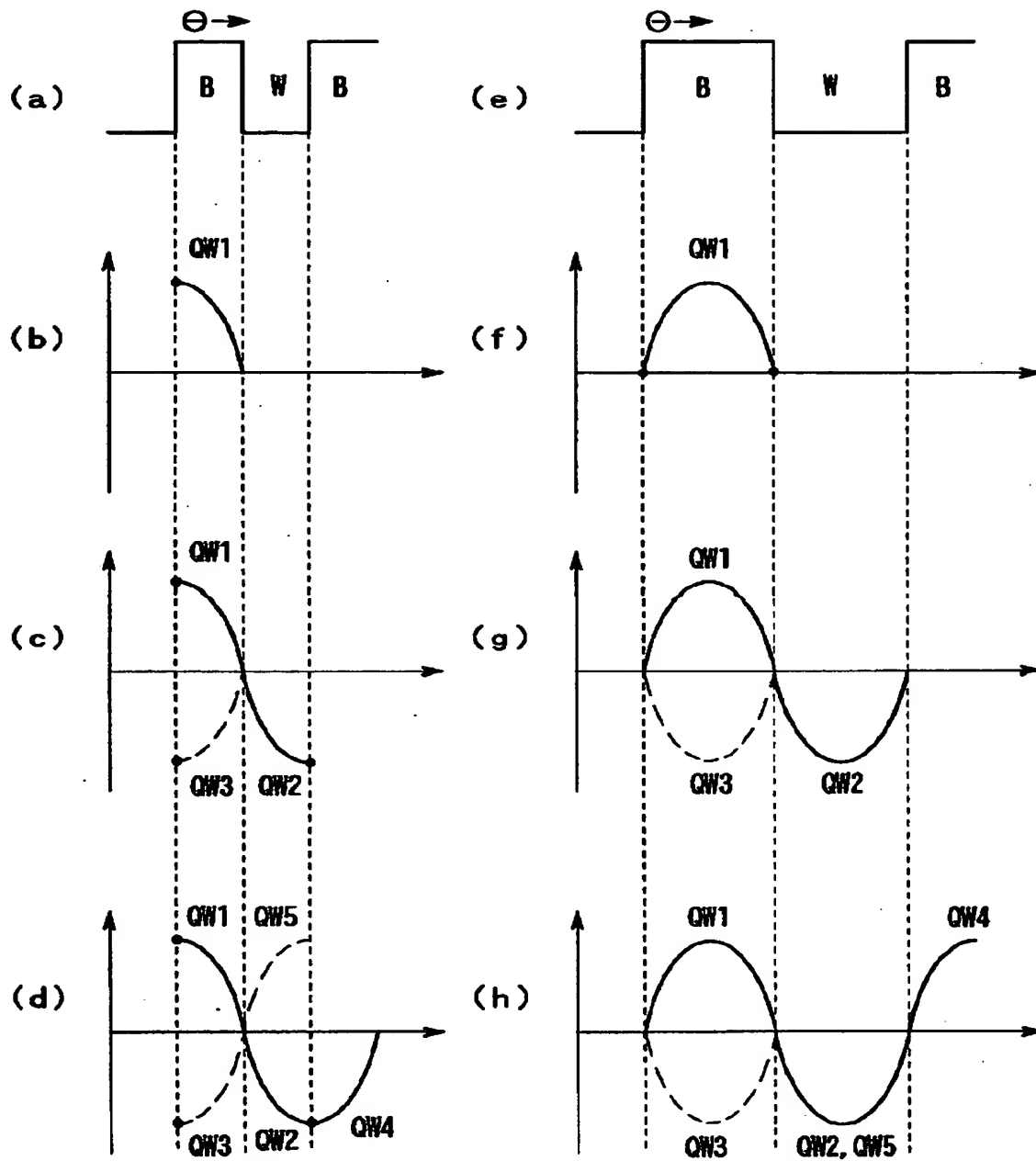
【図 2】



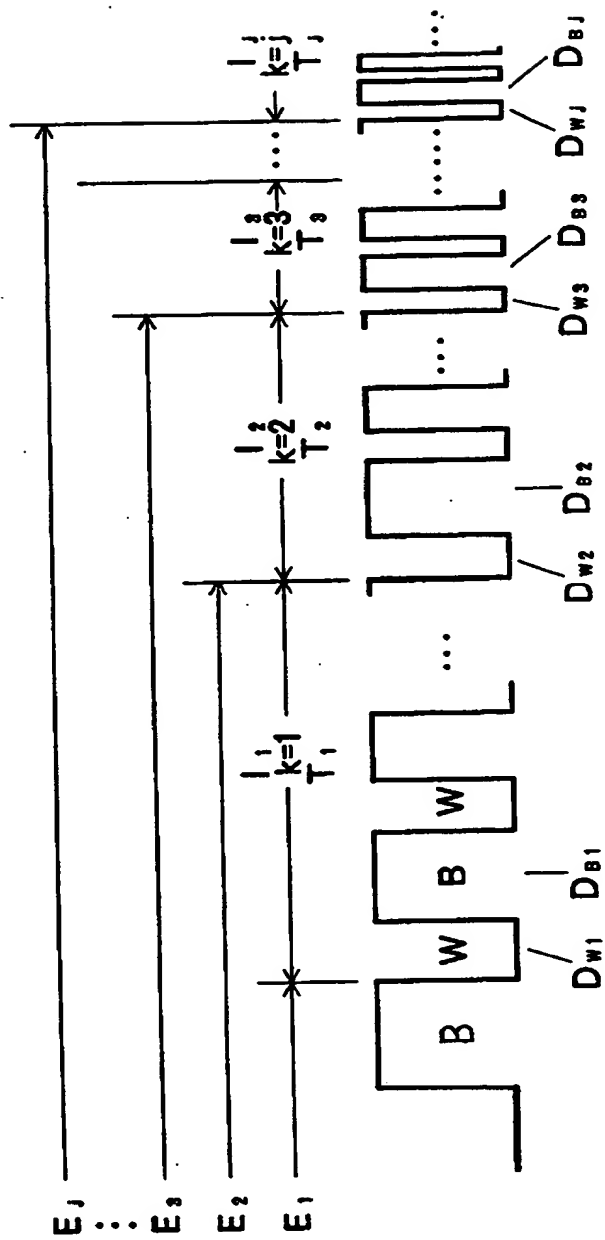
【図 3】



【图 4】

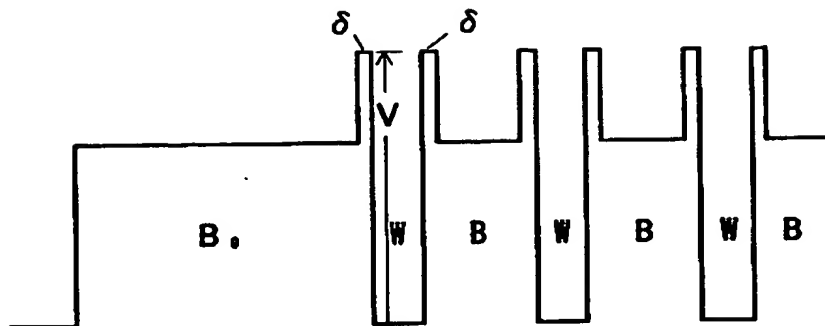


【図 5】

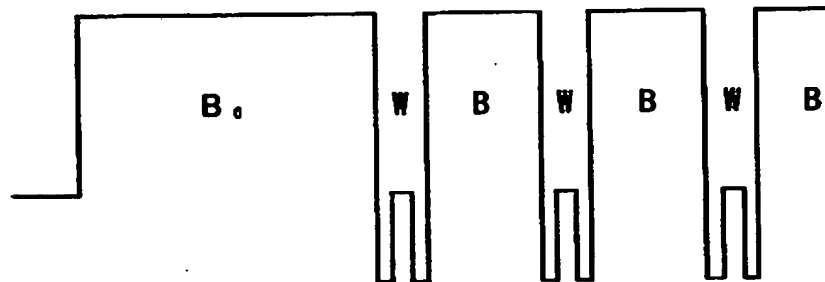


【図 6】

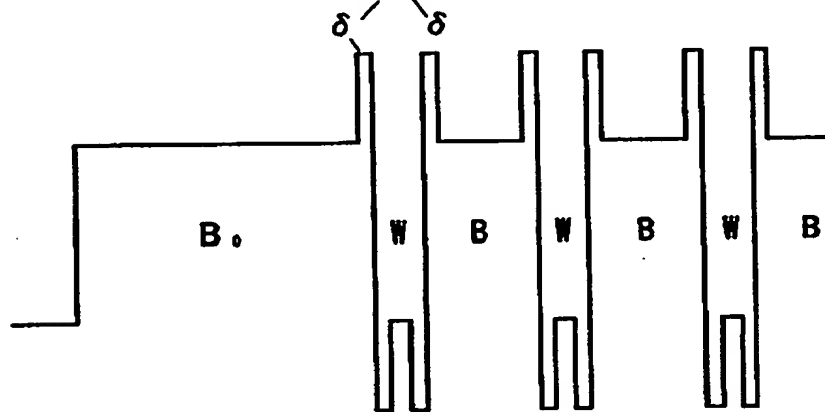
(a)



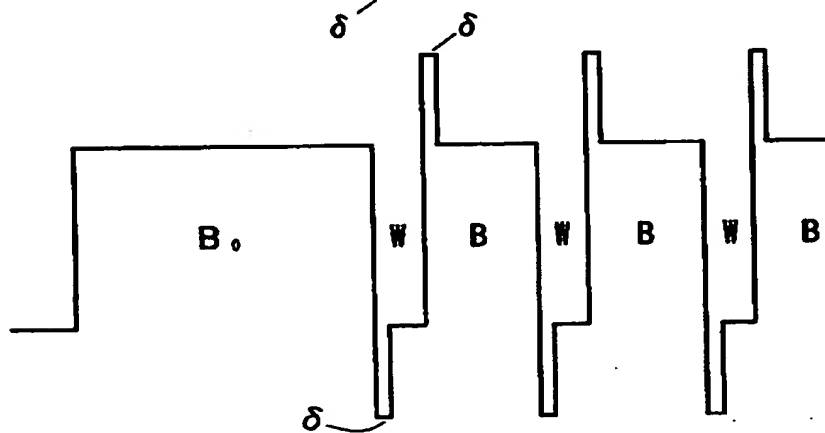
(b)



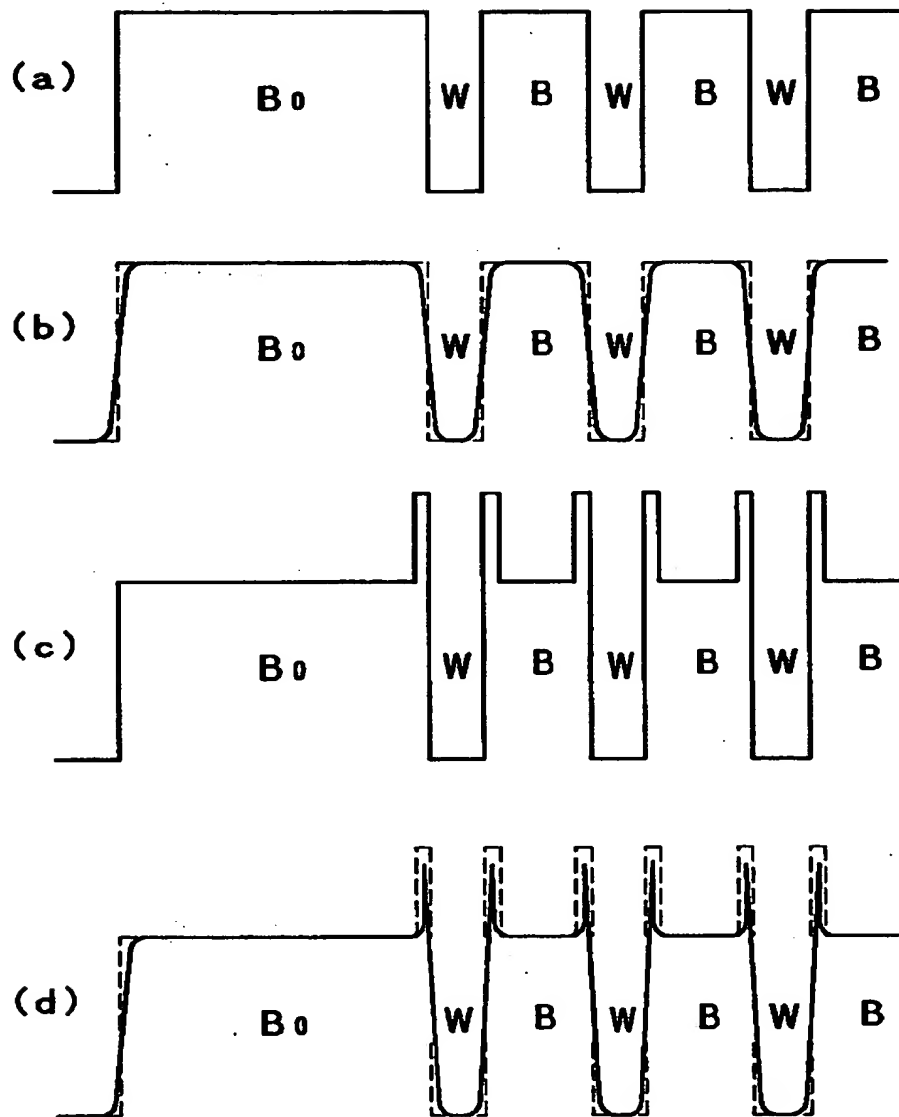
(c)



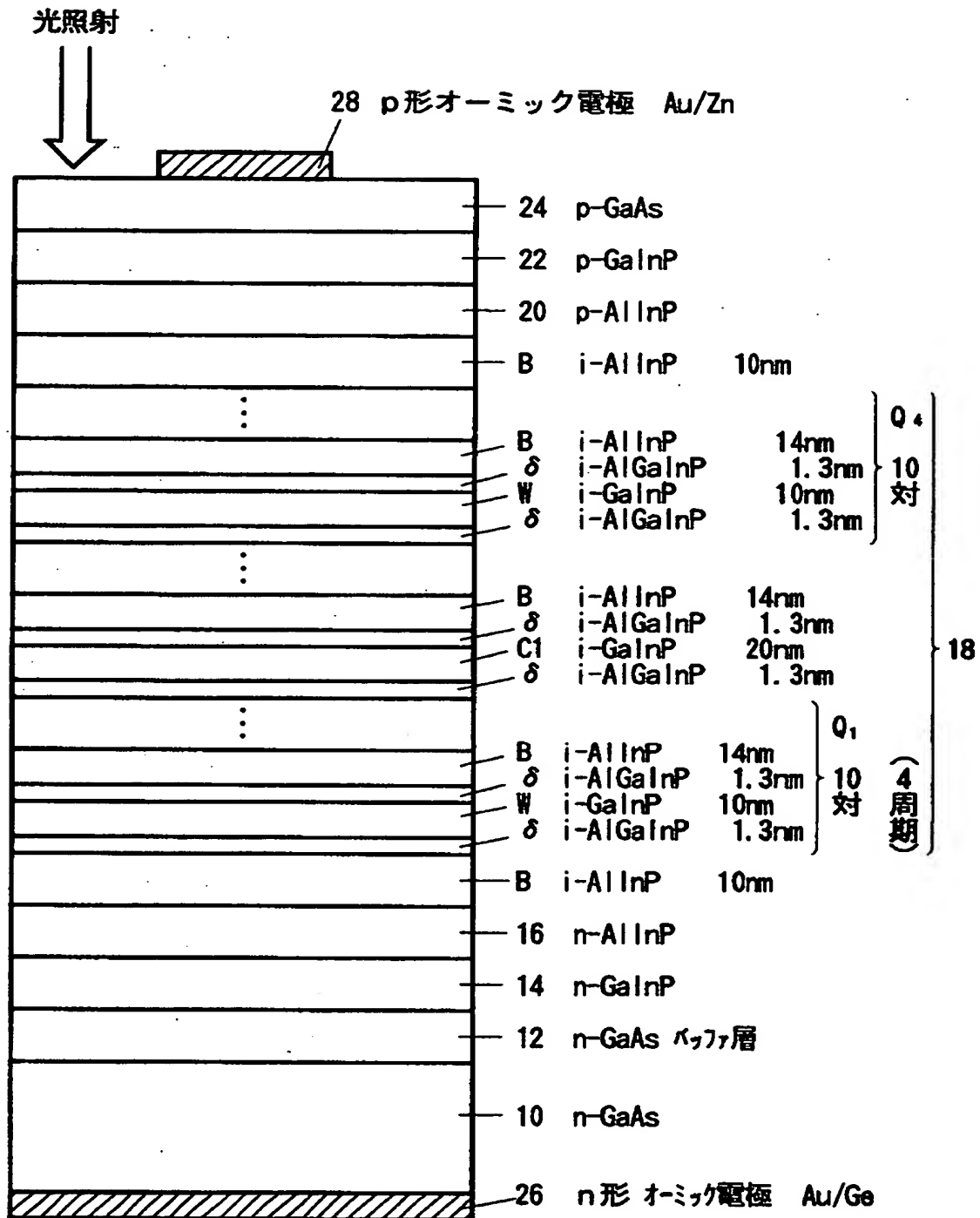
(d)



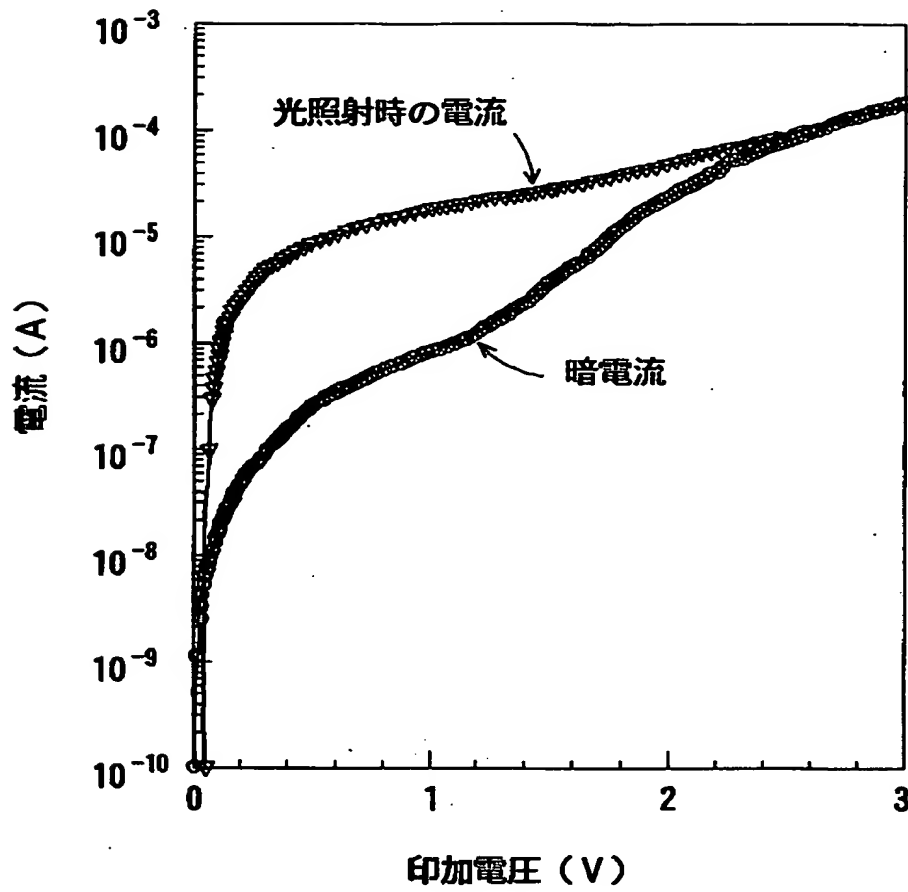
【図 7】



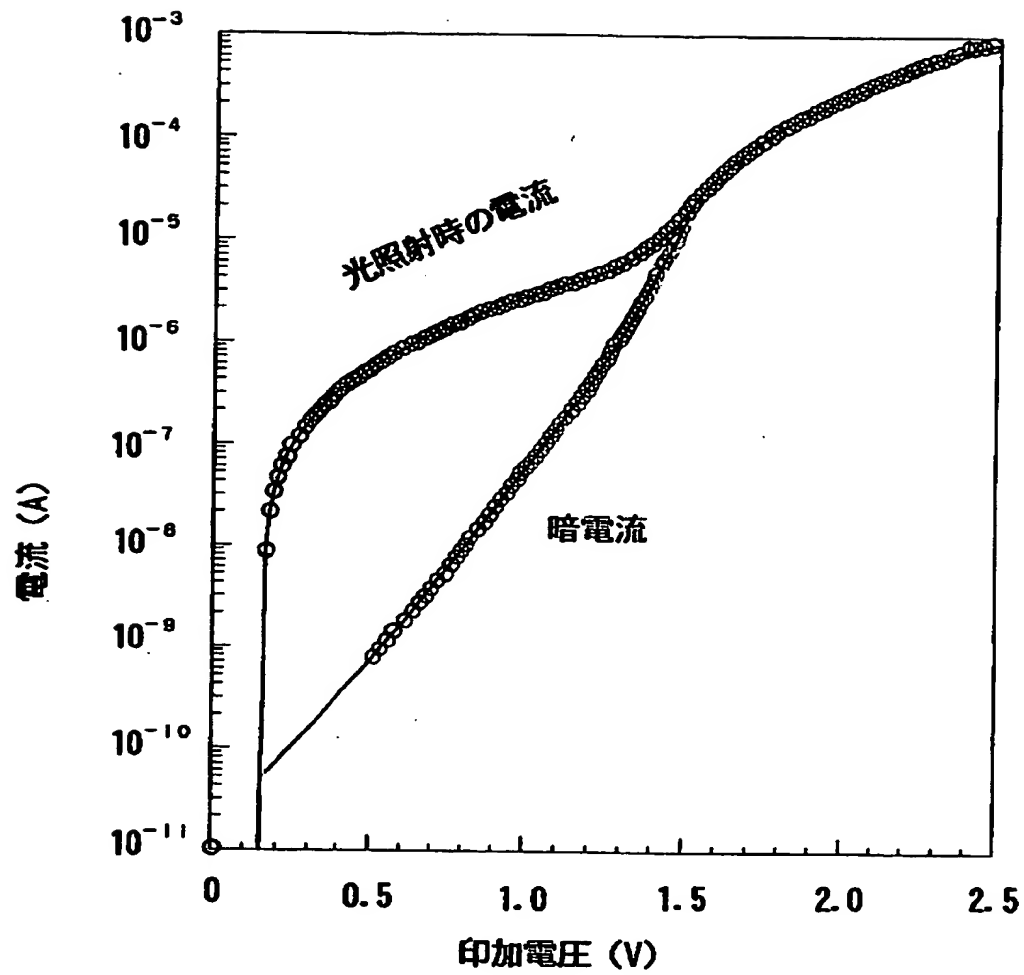
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 新規の構造による動作特性の向上

【解決手段】 p i n 接合の i 層において、第 1 層 W と第 1 層 W よりもバンド幅の広いバンドを有する第 2 層 B とを多重周期で積層した量子波干渉層 $Q_1 \sim Q_4$ とキャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ を設けた。第 1 層 W と第 2 層 B の厚さをキャリアの各層における量子波の波長の 4 分の 1 の偶数倍に設定した。又、第 1 層 W と第 2 層 B との境界に、第 1 層 W と第 2 層 B の厚さに比べて十分に薄く、エネルギーバンドを急変させる δ 層を形成した。さらに、複数の量子波干渉層をキャリア蓄積層を挟んで直列に接続した。この構造によりキャリア閉込層 $C_1 \sim C_3$ に電子が光励起されると n 層から p 層へ量子波干渉層を波動で伝搬し、光電流が高速に流れる。

【選択図】 図 1

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】
【識別番号】 591181229
【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字段之上1番地2
【氏名又は名称】 カナレ電気株式会社
【代理人】 申請人
【識別番号】 100087723
【住所又は居所】 愛知県名古屋市中川区一柳通1丁目23番地 土屋
ビル3F 藤谷特許事務所
【氏名又は名称】 藤谷 修

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [591181229]

1. 変更年月日	1995年 8月25日
[変更理由]	住所変更
住 所	愛知県愛知郡長久手町大字長湫字段之上1番地2
氏 名	カナレ電気株式会社